(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) **公開特許公報**（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平11－185998

(43)公開日　平成11年(1999)７月９日

(51)Int.Cl.[6]	識別記号	ＦＩ	
Ｈ０５Ｈ　1/46		Ｈ０５Ｈ　1/46	Ｒ
Ｃ２３Ｆ　4/00		Ｃ２３Ｆ　4/00	Ａ
Ｈ０１Ｌ　21/205		Ｈ０１Ｌ　21/205	

審査請求　未請求　請求項の数３　ＦＤ　（全８頁）

(21)出願番号　特願平9－364442

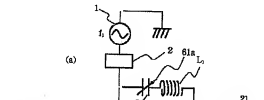
(22)出願日　平成９年(1997)12月17日

(71)出願人　395003523
株式会社フロンテック
宮城県仙台市泉区明通三丁目31番地
(71)出願人　000010098
アルプス電気株式会社
東京都大田区雪谷大塚町１番７号
(71)出願人　00020b041
大見　忠弘
宮城県仙台市青葉区米ケ袋２－１－17－301
(74)代理人　弁理士　福森　久夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　プラズマ処理装置

(57)【要約】
【課題】　使用する周波数に応じて共振回路を取り替える必要がなく、また、共振回路を取り替えることなくチャンバクリーニングを行うことができ、しかも、ベローズを用いずともチャンバ内のプラズマクリーニングが可能であるプラズマ処理装置を提供すること。
【解決手段】　処理室６０内にプラズマ励起電極４とサセプタ電極８とを設け、サセプタ電極８上に載置した被処理物１６の表面を前記プラズマ励起電極４とサセプタ電極８との間に発生させたプラズマにより処理する際、少なくともサセプタ電極８および処理室１０からなる立体回路と直列共振させてプラズマ励起電極４とサセプタ電極８との間にプラズマを閉じ込ませ、プラズマクリーニングする際、前記立体回路と並列共振させてプラズマを処理室６０内に拡散させる共振回路（バンドエリミネータ）６１ｂを設けている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】　処理室内にプラズマ励起電極とサセプタ電極とを設け、該サセプタ電極上に載置した被処理物の表面を前記プラズマ励起電極とサセプタ電極との間に発生させたプラズマにより処理する際、少なくとも前記サセプタ電極および処理室からなる立体回路と直列共振させてプラズマ励起電極とサセプタ電極との間にプラズマを閉じ込ませ、プラズマクリーニングする際、前記立体回路と並列共振させてプラズマを処理室内に拡散させる共振回路を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】　前記共振回路は、前記サセプタ電極と前記処理室の少なくとも一点と接続していることを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】　前記共振回路が前記処理室の二点以上と接続し、かつこれら接続点が前記サセプタ電極に対し略対称な位置であることを特徴とする請求項2記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はプラズマ処理装置に係る。

【0002】

【従来の技術】従来、プラズマ処理装置としては図11に示すものが知られている。

【0003】従来のプラズマ処理装置は、高周波電源1とプラズマ励起電極4との間に整合回路が介在している。整合回路はこれら高周波電源1とプラズマ励起電極4との間のインピーダンスの整合を得るための回路である。

【0004】高周波電源1からの高周波電力は整合回路を通して給電板3によりプラズマ励起電極4へ供給される。

【0005】これら整合回路および給電板3は導電体からなるハウジング21により形成されるマッチングボックス2内に収納されている。

【0006】プラズマ励起電極（カソード電極）4の下には、多数の孔7が形成されているシャワープレート5が設けられており、プラズマ励起電極4とシャワープレート5とで空間6が形成されている。この空間6にはガス導入管17が設けられている。ガス導入管17から導入されたガスは、シャワープレート5の孔7を介してチャンバ壁10により形成されたチャンバ室60内に供給される。なお、9はチャンバ壁10とプラズマ励起電極（カソード電極）4とを絶縁する絶縁体である。また、排気系の図示は省略してある。

【0007】一方、チャンバ室60内には基板16を載置しプラズマ励起電極ともなるウエハサセプタ（サセプタ電極）8が設けられておりその周囲にはサセプタシールド12が設けられている。ウエハサセプタ8及びサセプタシールド12はベローズ11により上下動可能となっており、プラズマ励起電極4，8間の距離の調整ができる。

【0008】ウエハサセプタ8には、マッチングボックス14内に収納された整合回路を介して第2の高周波電源15が接続されている。

【0009】なお、チャンバとサセプタシールド12とは直流的に同電位となっている。

【0010】図11において61a，61bは共振回路でありバンドエリミネータあるいはフィルタとして作用する。

【0011】例えば、プラズマ励起電極4には$f_1=13.56MHz$の高周波電力を供給し、サセプタ電極8には$f_2=100MHz$の高周波電力を供給する場合を考える。

【0012】サセプタ電極8に用いられるバンドエリミネータ61bは図11に示すようにLCの直列回路であり、

$2\pi f_3=1/(L_2C_2)^{1/2}$

としておくとf_2の共振周波数で直列共振状態となりインピーダンスが極小となり、f_2の高周波のみ選択してサセプタ電極8に供給することができ、プラズマはプラズマ励起電極4とサセプタ電極8との間に閉じこめられた状態で発生させることができる。なお、$f_1=13.56MHz$に対してはほとんど完全にサセプタ電極8はアースに短絡される。

【0013】図12に他の従来のプラズマ処理装置を示す。

【0014】図12に示すプラズマ処理装置ではシャワープレートは使用されておらず、プラズマ励起電極であるカソード電極4とウエハサセプタ8とが直接対向している。カソード電極4の裏面周囲にはシールド20が設けられている。他の点は図11に示すプラズマ処理装置と同様の構成を有している。

【0015】従来のプラズマ処理装置においては、バンドエリミネータのインピーダンスは、プラズマをプラズマ励起電極4とサセプタ電極8との間に効率よく閉じこめて発生させる目的で設計されている。すなわち、主に成膜を効率よく行うべく固定的に設計されている。

【0016】ところで、成膜時とは異なり、チャンバのクリーニングを行う場合にはプラズマはチャンバ全体に広げて発生させることが好ましい。その際には周波数f_2に対するインピーダンスは極大点となるようにすることが好ましい。すなわち、並列共振状態とすることが好ましい。

【0017】また、f_2の値として上記した100MHz以外の周波数を用いたい場合もある。

【0018】しかるに、従来のプラズマ処理装置ではバンドエリミネータのインピーダンスは使用する周波数に合わせて固定的に設計されているため、チャンバのクリーニングを行いたい場合や別の周波数を用いたい場合に

はバンドエリミネータを別異のものに取り替えてから行わざるを得なかった。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従来技術の有する問題点を解決し、使用する周波数に応じてバンドエリミネータを取り替える必要のないプラズマ処理装置を提供することを目的とする。また、バンドエリミネータを取り替えることなくチャンバクリーニングを行うことができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のプラズマ処理装置は、処理室内にプラズマ励起電極とサセプタ電極とを設け、該サセプタ電極上に載置した被処理物の表面を前記プラズマ励起電極とサセプタ電極との間に発生させたプラズマにより処理する際、少なくとも前記サセプタ電極および処理室からなる立体回路と直列共振させてプラズマ励起電極とサセプタ電極との間にプラズマを閉じ込ませ、プラズマクリーニングする際、前記立体回路と並列共振させてプラズマを処理室内に拡散させる共振回路を設けたことを特徴とする。

【0021】

【実施例1）（実施例１）図１に実施例１に係るプラズマ処理装置を示す。

【0022】本発明のプラズマ処理装置は、処理室６０内にプラズマ励起電極４とサセプタ電極８とを設け、サセプタ電極８上に載置した被処理物１６の表面を前記プラズマ励起電極４とサセプタ電極８との間に発生させたプラズマにより処理する際、少なくともサセプタ電極８および処理室１０からなる立体回路と直列共振させてプラズマ励起電極４とサセプタ電極８との間にプラズマを閉じ込ませ、プラズマクリーニングする際、前記立体回路と並列共振させてプラズマを処理室６０内に拡散させる共振回路（バンドエリミネータ）６１ｂを設けている。

【0023】なお、本例では、プラズマ励起電極４個におけるバンドエリミネータ６１ａにも可変コンデンサを使用しインピーダンスを可変調整可能としてある。ただ、バンドエリミネータ６１ａは、主に周波数f_gの高周波電力がプラズマ励起電極４にのることを防止することを目的として設けられる回路であるため用途によりバンドエリミネータ６１ａ自体は必ずしも設ける必要はなく、また、バンドエリミネータ６１ａのインピーダンスを可変とすることも必ずしも必要はない。

【0024】また、本例ではバンドエリミネータ６１ｂのサセプタ電極８への接続は対称の位置において複数の点で行われている。

【0025】図１に示すバンドエリミネータは、図２に示すように、可変コンデンサが５０～２００ｐＦの範囲において周波数がf_d＝４０ＭＨｚのときにプラズマ処理装置のインピーダンスが極小値をとるように設計してある。

【0026】f_d＝４０ＭＨｚの周波数の高周波電力を高周波電源１５からサセプタ電極８に供給して成膜を行ったところプラズマはプラズマ励起電極４とサセプタ電極８との間に閉じ込められていた。

【0027】成膜終了後、インピーダンスが極大値となるf_eの周波数において共振（並列共振）が生じるように可変コンデンサによりC_1の値を変えてチャンバのクリーニングを行った。すなわち、サセプタ電極８とチャンバ壁１０との間には寄生容量C_sが存在し、また、シャフト１３にはそれに寄生するL_sが存在するためチャンバはそれに寄生するC_sおよびL_sを有しており、これらがサセプタ電極および処理室からなる立体回路を構成しており、全体の回路は図１（ｂ）に示す回路となる。この回路においてC_1を変化させることにより並列共振を生じさせた。その結果プラズマはチャンバ内全体に及んでいた。

【0028】（実施例２）図３に実施例２に係るプラズマ処理装置を示す。本例ではバンドエリミネータは６１ｂ、６１ｂ’の２個を対称に２個設けてある。

【0029】本例では、複数個のバンドエリミネータ６１ｂ、６１ｂ’を設けてあり、また、バンドエリミネータ６１ｂとバンドエリミネータ６１ｂ’とは対称に設けてあるため高周波電力をサセプタ電極８に均一に供給することができる。他の点は実施例１と同様である。

【0030】（実施例３）図４に実施例３に係るプラズマ処理装置を示す。本例は、図１２に示す従来例において、実施例２において示したバンドエリミネータ６１ａ，６１ａ’と６１ｂ，６１ｂ’を設けた例である。他の点は実施例１と同様である。

【0031】（実施例４）図５に実施例４に係プラズマ処理装置を示す。図６は図５のサセプタ電極８近傍の拡大図である。

【0032】本例のプラズマ処理装置は、実施例１に示した装置に加え、さらに、チャンバ壁１０と、チャンバと直流的に同電位である電極のシールド１２との間を金属プレート８０ａ，８０ｂにより交流的に短絡している。

【0033】本例のプラズマ処理装置においては、高周波電力は、高周波電源１から同軸ケーブル、整合回路、給電板３、プラズマ励起電極（カソード電極）４に供給される。この点は従来のプラズマ処理装置と同様である。一方、高周波電流の経路を考えた場合、電流はこれらを介してプラズマ空間（チャンバ室６０）を経由した後、さらにもう一方の電極（サセプタ電極）８、シールド１２の水平部、金属プレート８０ａ，８０ｂ、チャンバ壁１０の底部１０ｂ、チャンバ壁１０の側壁１０ａを通る。その後、マッチングボックス２のハウジングを通り、高周波電源１のアースに戻る。

【0034】従来のプラズマ処理装置においては、高周波電流はシールド12の垂直部を通っていた。基板16のサイズが大きくなるとシールド12とチャンバ側壁との間の距離が必然的に大きくなる。シールド12とチャンバ側壁10sとをそれぞれ流れる高周波電流同士により生じる相互インダクタンスはその間の距離が大きくなると大きくなり電力消費効率は低下するため、従来のプラズマ処理装置では大きなサイズの基板に対しては電力消費効率は低くならざるを得なかった。

【0035】しかるに、本例に係るプラズマ処理装置では、高周波電流は、シールド12の垂直部よりもチャンバ側壁10sに近い金属プレート80a，80bを通るため相互インダクタンスの発生を著しく低減させ電力消費効率を著しく高めることができる。

【0036】図5に示す装置では図11に示す装置よりも電力消費効率は2倍近く向上させることができる。また、図5に示す装置ではサセプタインピーダンスの周波数依存性が少ない。図5に示す装置のサセプタインピーダンスを図7に示す。

【0037】図7からわかるように本例に係るプラズマ処理装置ではサセプタインピーダンスは従来例に係るプラズマ処理装置より極めて小さくまた、周波数依存性が少ない。図2と比べるとわかるように極小値を示す周波数範囲が広い。

【0038】（実施例5）図8に実施例5に係るプラズマ処理装置を示す。実施例1から実施例4まではプラズマ励起電極4とサセプタ電極8とに高周波電力を供給するいわゆる二周波励起タイプのプラズマ処理装置であるが、本例は、プラズマ励起電極4にのみ高周波電力を供給する一周波励起タイプのプラズマ処理装置である。また、本例はベローズを設けていない例である。また、バンドエリミネータは一点接続されている。

【0039】他の点は実施例1ないし実施例4と同様である。本例でも、バンドエリミネータには可変コンデンサを設けているためサセプタ電極8を移動させずとも可変コンデンサにより並列共振点を選択すればチャンバ（処理室）全体にプラズマを広げることができ、従って、ベローズを設けずともチャンバのクリーニングが可能となる。なお、実施例1から実施例4においてはベローズを設けてあるがチャンバクリーニングのためにはベローズを使用せずともチャンバのクリーニングが可能である。

【0040】（実施例6）図9に実施例6に係るプラズマ処理装置を示す。本例が実施例5と異なる点は、バンドエリミネータを対称に二点接続した点である。他の点は実施例5と同様である。本例では、チャンバクリーニング時に実施例5よりも均一なプラズマをチャンバ内に発生させることができ、均一なクリーニングができた。

【0041】（実施例7）図10に実施例7に係るプラズマ処理装置を示す。本例もいわゆる二周波励起タイプのプラズマ処理装置である。本例が実施例1と異なる点は、ベローズを設けていない点と、サセプタシールド12をチャンバ壁10とを接触させている点である。他の点は実施例1と同様である。なお、上記実施例ではコンデンサを可変とする場合を示したが、コイルを可変として直列共振、並列共振を起こしてもよいことはいうまでもない。

【0042】

【発明の効果】本発明によれば、使用する周波数に応じてバンドエリミネータを取り替える必要のないプラズマ処理装置を提供することを目的とする。また、バンドエリミネータを取り替えることなくチャンバクリーニングを行うことができるプラズマ処理装置を提供することができる。また、ベローズを用いずともチャンバ内のプラズマクリーニングが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図2】図1のプラズマ処理装置の周波数とインピーダンスとの関係を示すグラフである。

【図3】実施例2に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図4】実施例3に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図5】実施例4に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図6】図5のサセプタ電極近傍の拡大図である。

【図7】図5のプラズマ処理装置の周波数とインピーダンスとの関係を示すグラフである。

【図8】実施例5に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図9】実施例6に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図10】実施例7に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【図11】従来例に係るプラズマ処理装置の断面図である。

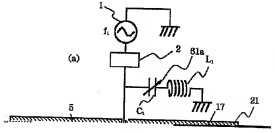
【図12】従来例に係るプラズマ処理装置の断面図である。

【符号の説明】

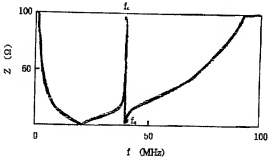
1　高周波電源、
2　マッチングボックス、
3　給電板、
4　プラズマ励起電極（カソード電極）、
5　シャワープレート、
6　空間、
7　孔、
8　プラズマ励起電極（ウエハサセプタ、サセプタ電極）、
9　絶縁体、

10　チャンバ壁、
10a　チャンバ側壁、
10b　チャンバ壁底部、
10s　チャンバ側壁、
10u　チャンバ上部、
11　ベローズ、
12　サセプタシールド、
13　シャフト、
14　マッチングボックス、
15　高周波電源、
16　基板、
17　ガス導入管、
20　シールド、
21　ハウジング、
60　チャンバ室、
61a，61a'　共振回路（バンドエリミネータ）、
61b，61b'　共振回路（バンドエリミネータ）、
80a，80b　金属プレート、
A1，A2　短絡点
B1，B2　短絡点。

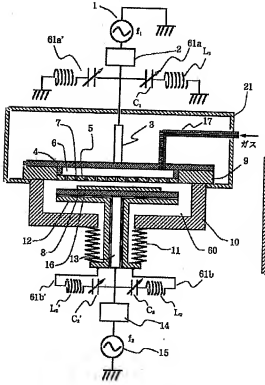
【図1】



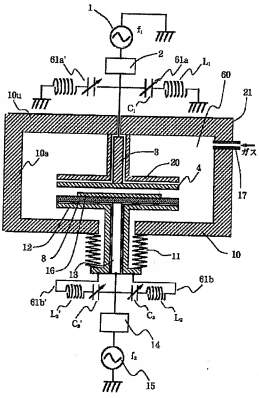
【図2】



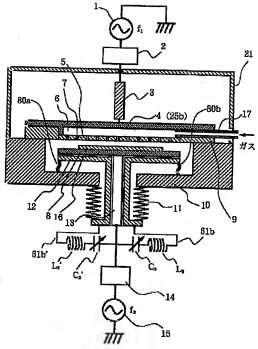
【図3】



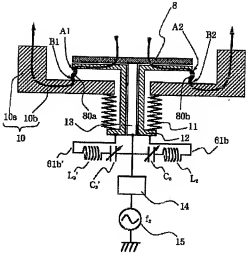
【図4】



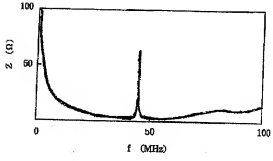
【図5】


1
f1
2
21
5
3
7
6
80a
4 (25b)
80b
17
ガス
12
8 16
13
11
10
9
61b
61b'
L2
C2'
C3
L3
14
f2
15

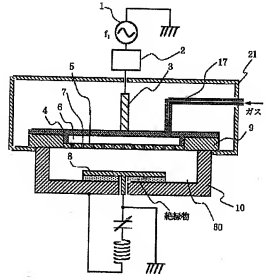
【図6】


8
A1
B1
A2
B2
10a 10b
10
13
80a
80b
11
12
61b
61b'
L2
C2'
C3
L3
14
f2
15

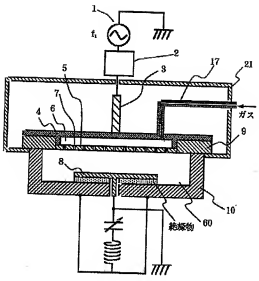
【図7】


100
Z (Ω)
50
0
50
100
f (MHz)

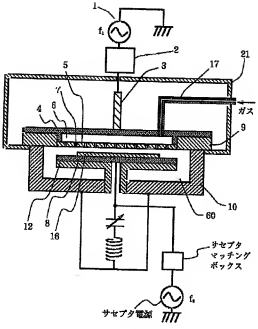
【図8】


1
f1
2
21
5
3
17
7
6
4
ガス
9
8
10
絶縁物
80

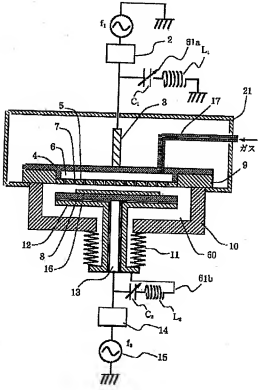
【図9】


1
f1
2
3
5
7
6
4
17
21
ガス
9
8
10
60
絶縁物

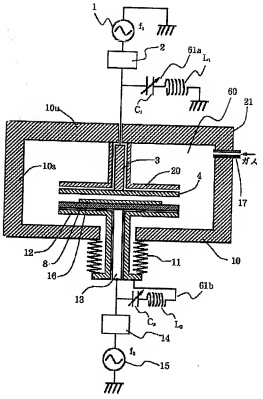
【図10】


1
f1
2
3
5
7
6
4
17
21
ガス
9
10
60
12
8
16
サセプタ
マッチング
ボックス
f4
サセプタ電極

【図11】


f1
2
61a
L1
C1
3
17
21
5
7
6
4
ガス
9
12
8
16
10
60
11
61b
13
C2
L2
14
f4
15

【図12】



フロントページの続き

(72)発明者　仲野　陽
宮城県仙台市泉区明通３－31株式会社フロンテック内
(72)発明者　金　聖哲
宮城県仙台市泉区明通３－31株式会社フロンテック内
(72)発明者　福田　航一
宮城県仙台市泉区明通３－31株式会社フロンテック内
(72)発明者　笠間　泰彦
宮城県仙台市泉区明通３－31株式会社フロンテック内
(72)発明者　小野　昭一
東京都大田区雪谷大塚町１番７号アルプス電気株式会社内
(72)発明者　大見　忠弘
宮城県仙台市青葉区米ケ袋２－１－17－301

US006270618B1

(12) **United States Patent**
Nakano et al.

(10) **Patent No.: US 6,270,618 B1**
(45) **Date of Patent: Aug. 7, 2001**

(54) **PLASMA PROCESSING APPARATUS**

(75) Inventors: **Akira Nakano**, Miyagi-ken; **Sung Chul Kim**, Kyongki-Do; **Koichi Fukuda**, Miyagi-ken; **Yasuhiko Kasama**, Miyagi-ken; **Tadahiro Ohmi**, Miyagi-ken; **Shoichi Ono**, Miyagi-ken, all of (JP)

(73) Assignee: **ALPS Electric Co., Ltd.**, Tokyo (JP)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **09/205,800**

(22) Filed: **Dec. 4, 1998**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 17, 1997 (JP) 9-364442

(51) **Int. Cl.**[7] **C23F 1/02**; C23C 14/02; C23C 16/02

(52) **U.S. Cl.** ..... **156/345**; 204/298.06; 204/298.08; 204/298.34; 204/298.38; 118/723 E; 118/723 MH; 315/111.21

(58) **Field of Search** ..... 204/298.06, 298.08, 204/298.34, 298.38; 118/723 E, 723 MW; 156/345; 315/111.21

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

Re. 34,106 * 10/1992 Ohmi 204/298.08
4,464,223 * 8/1984 Gorin 315/111.21
5,248,371 * 9/1993 Maher et al. 156/345
5,433,813 7/1995 Kuwabara 156/345

* cited by examiner

Primary Examiner—Mark F. Huff
Assistant Examiner—Daborah Chacko-Davis
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Brinks Hofer Gilson & Lione

(57) **ABSTRACT**

A plasma processing apparatus is provided which does not require replacement of a band eliminator according to a frequency used, which is capable of performing chamber cleaning without replacing a resonance circuit, and which is capable of performing plasma cleaning of the inside of the chamber without using a bellows. The plasma processing apparatus includes a resonance circuit (band eliminator) for causing series resonance with a microwave circuit formed of at least a susceptor electrode and a processing chamber in order to trap plasma between a plasma excitation electrode and the susceptor electrode when the surface of a workpiece placed on the susceptor electrode is processed by plasma generated between the plasma excitation electrode and the susceptor electrode, which are provided inside the processing chamber; and for causing parallel resonance with the microwave circuit in order to diffuse plasma inside the processing chamber when performing plasma cleaning.

10 Claims, 12 Drawing Sheets

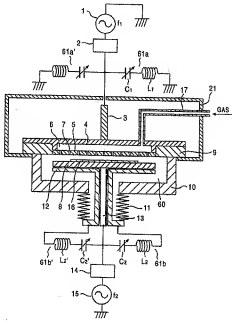


FIG. 1A

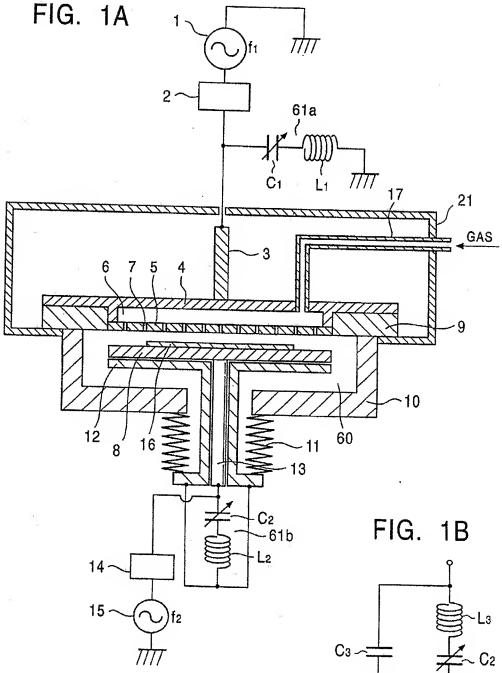

1
f1
2
61a
C1
L1
17
21
GAS
3
6
7
5
4
9
10
12
8
16
60
11
13
C2
61b
L2
14
15
f2

FIG. 1B

L3
C3
C2
L2

FIG. 2

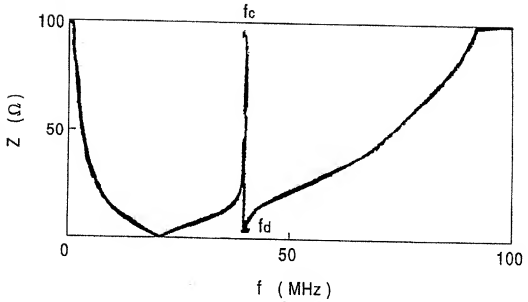


FIG. 3

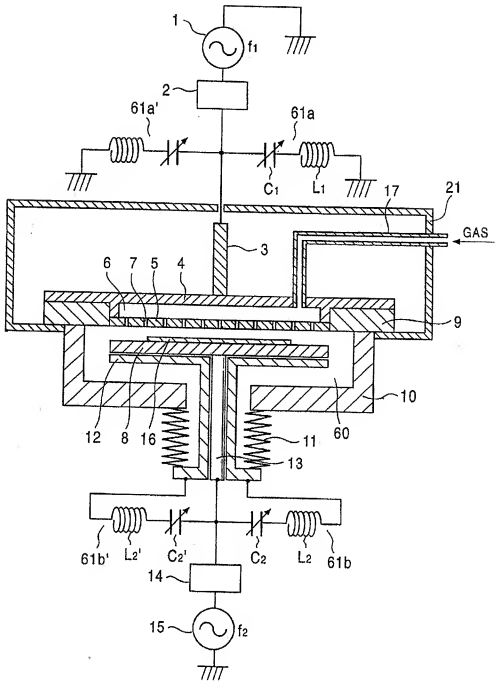

1
f1
2
61a'
61a
C1
L1
17
21
GAS
3
6
7
5
4
9
10
12
8
16
11
60
13
61b'
L2'
C2'
C2
L2
61b
14
15
f2

FIG. 4

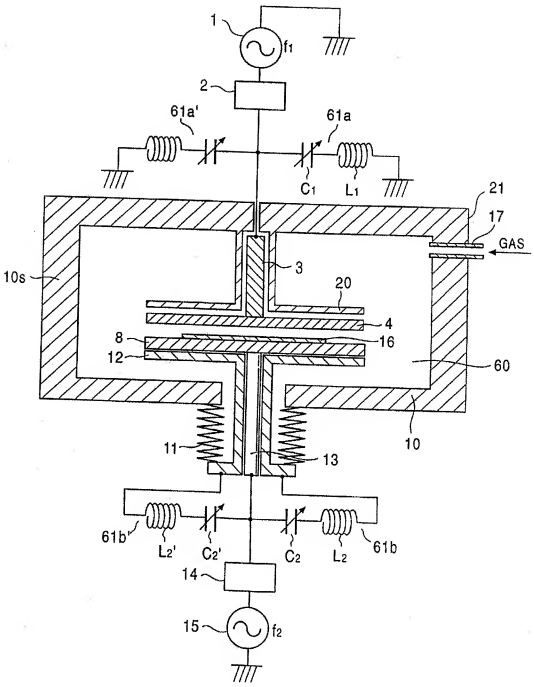

1
f1
2
61a'
61a
C1
L1
21
17
GAS
10s
3
20
4
8
16
12
60
11
13
10
61b'
L2'
C2'
C2
L2
61b
14
15
f2

FIG. 5

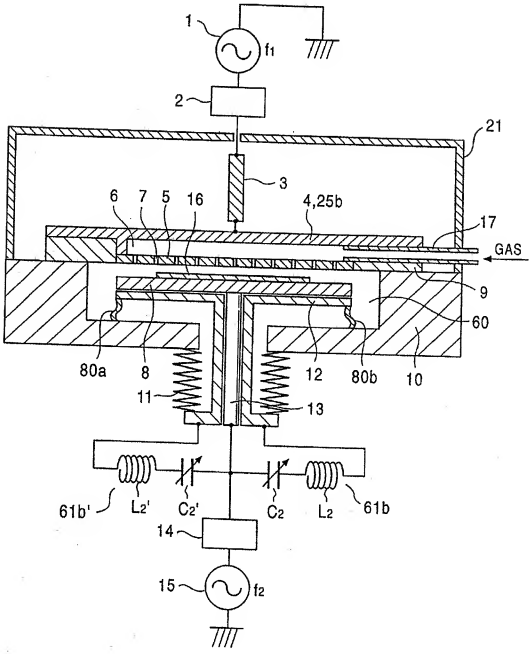

1
f1
2
21
3
6
7
5
16
4,25b
17
GAS
9
60
80a
8
11
12
80b
10
13
61b'
L2'
C2'
C2
L2
61b
14
15
f2

FIG. 6

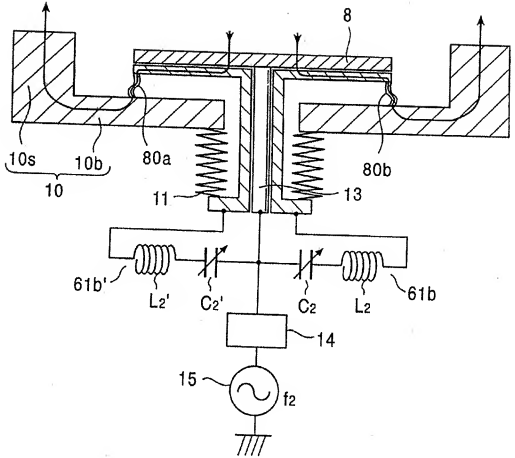


FIG. 7

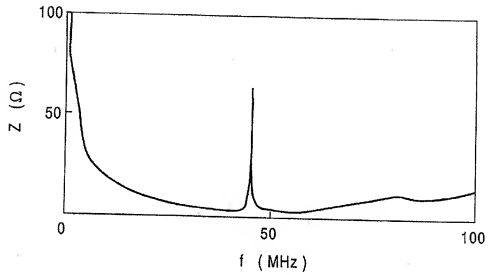


FIG. 8

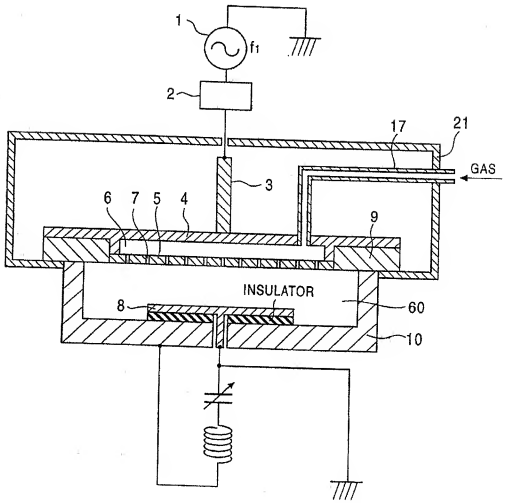


FIG. 9

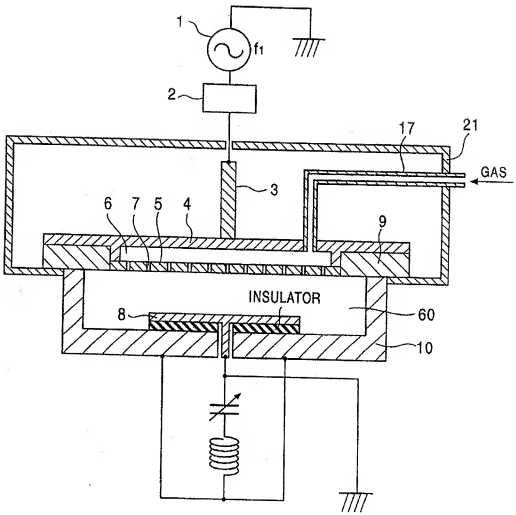


FIG. 10

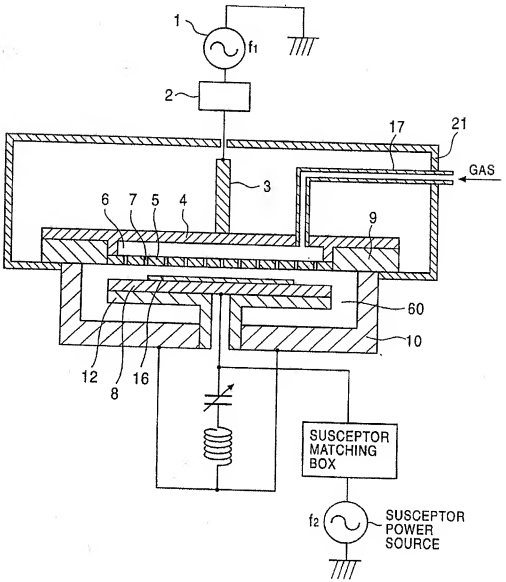

1
f1
2
17
21
GAS
3
6
7
5
4
9
60
10
12
8
16
SUSCEPTOR MATCHING BOX
f2
SUSCEPTOR POWER SOURCE

FIG. 11
PRIOR ART

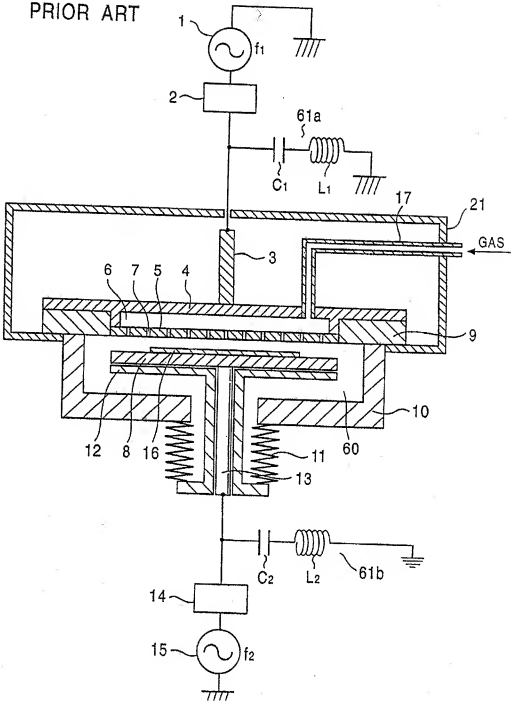
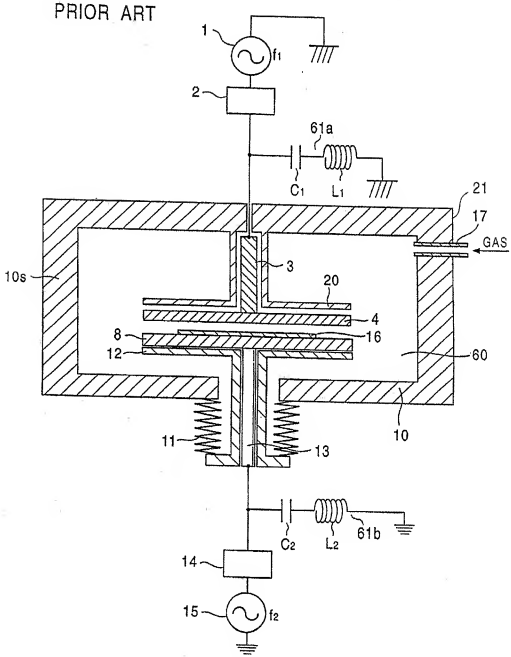


FIG. 12
PRIOR ART



PLASMA PROCESSING APPARATUS

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

The present invention relates to a plasma processing apparatus.

2. Description of the Related Art

Hitherto, as a plasma processing apparatus, a plasma processing apparatus, as shown in FIG. **11**, has been known.

A conventional plasma processing apparatus has a matching circuit interposed between a high-frequency power source **1** and a plasma excitation electrode **4**. The matching circuit is a circuit for obtaining impedance matching between the high-frequency power source **1** and the plasma excitation electrode **4**.

The high-frequency power from the high-frequency power source **1** is supplied by a power-supply plate **3** to the plasma excitation electrode **4** through the matching circuit.

The matching circuit is housed in a matching box and the power supply plate **3** is housed in a house **21**.

A shower plate **5** having a number of holes **7** formed therein is provided below the plasma excitation electrode (cathode electrode) **4**, and a space **6** is formed by the plasma excitation electrode **4** and the shower plate **5**. A gas introduction pipe **17** is provided in this space **6**. Gas introduced from the gas introduction pipe **17** is supplied through the holes **7** of the shower plate **5** into a chamber **60** formed by a chamber wall **10**. Reference numeral **9** denotes an insulator which insulates the chamber wall **10** from the plasma excitation electrode (cathode electrode) **4**. Illustration of an exhaust system has been omitted.

Meanwhile, inside the chamber **60**, a wafer susceptor (susceptor electrode) **8**, on which a substrate **16** is placed, which acts also as a plasma excitation electrode is provided, with a susceptor shield **12** being provided around the susceptor electrode **8**. The wafer susceptor **8** and the susceptor shield **12** are movable up and down by a bellows **11** so that the distance between the plasma excitation electrode **4** and the wafer susceptor **8** can be adjusted.

A second high-frequency power source **15** is connected to the wafer susceptor **8** through the matching circuit housed inside a matching box **14** and a shaft **13**. The chamber and the susceptor shield **12** are at the same electrical potential in terms of direct current. In FIG. **11**, reference numerals **61***a* and **61***b* each denote a resonance circuit, which acts as a band eliminator or a filter.

A case is considered in which, for example, high-frequency power of f_1=13.56 MHz is supplied to the plasma excitation electrode **4** and high-frequency power of f_2=100 MHz is supplied to the susceptor electrode **8**.

The band eliminator **61***b* used for the susceptor electrode **8** is a series circuit of LC as shown in FIG. **11**, and if

$$2\pi f_1=1/(L_2C_2)^{1/2}$$

is set, a series resonance state is reached at a resonance frequency of f_1, the impedance becomes a local minimum, and only a high-frequency wave of f_1 can be selected and supplied to the susceptor electrode **8**, making it possible to generate plasma in a state in which it is trapped between the plasma excitation electrode **4** and the susceptor electrode **8**. With respect to f_1=13.56 MHz, the susceptor electrode **8** is nearly completely short-circuited to a ground.

FIG. **12** shows another conventional plasma processing apparatus.

In the plasma processing apparatus shown in FIG. **12**, a shower plate **5** is not used, and the cathode electrode **4**, which is a plasma excitation electrode, and the susceptor electrode **8** directly oppose each other. A shield **20** is provided around the rear surface of the cathode electrode **4**. The remaining construction is the same as that of the plasma processing apparatus shown in FIG. **1**.

In the conventional plasma processing apparatus, the impedance of a band eliminator is designed so as to generate plasma in a state in which it is trapped efficiently between the plasma excitation electrode **4** and the susceptor electrode **8**. That is, the impedance is designed in such a manner as to be fixed so as to efficiently perform film formation.

In this regard, unlike during film formation, when cleaning of the chamber is performed, it is preferable that plasma be generated in such a manner as to be diffused over the entire chamber. In that case, the impedance with respect to the frequency f_1 is preferably made a local maximum point. That is, it is preferable that a parallel resonance state be reached.

There is another case in which, as the value of f_1, a frequency other than 13.56 MHz described above is used.

However, in the conventional plasma processing apparatus, since the impedance of a band eliminator is designed in such a manner as to be fixed in accordance with the frequency used, when cleaning of the chamber is desired to be performed or when another frequency is desired to be used, this must be performed after the band eliminator is replaced with another one.

SUMMARY OF THE INVENTION

An object of the present invention is to provide a plasma processing apparatus which solves the problems of the conventional technology and which does not require the replacement of a band eliminator according to a frequency to be used. Another object of the present invention is to provide a plasma processing apparatus which is capable of performing chamber cleaning without replacing a band eliminator.

To achieve the above-mentioned objects, the present invention provides a plasma processing apparatus, comprising: a resonance circuit for causing series resonance with a microwave circuit formed of at least a susceptor electrode and a processing chamber in order to trap plasma between a plasma excitation electrode and the susceptor electrode when the surface of a workpiece placed on the susceptor electrode is processed by plasma generated between the plasma excitation electrode and the susceptor electrode, which are provided inside the processing chamber; and for causing parallel resonance with the microwave circuit in order to diffuse plasma inside the processing chamber when performing plasma cleaning.

The above and further objects, aspects and novel features of the invention will become more apparent from the following detailed description when read in connection with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. **1**A is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a first embodiment of the present invention; FIG. **1**B is a circuit diagram thereof.

FIG. **2** is a graph showing the relationship between the frequency and the impedance of the plasma processing apparatus of FIG. **1**.

FIG. **3** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a second embodiment of the present invention.

FIG. **4** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a third embodiment of the present invention.

FIG. **5** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a fourth embodiment of the present invention.

FIG. **6** is an enlarged view taken from the vicinity of a susceptor electrode of FIG. **5**.

FIG. **7** is a graph showing the relationship between the frequency and the impedance of the plasma processing apparatus of FIG. **5**.

FIG. **8** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a fifth embodiment of the present invention.

FIG. **9** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a sixth embodiment of the present invention.

FIG. **10** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a seventh embodiment of the present invention.

FIG. **11** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a conventional example.

FIG. **12** is a sectional view of a plasma processing apparatus according to a conventional example.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

[First Embodiment]

FIG. **1** shows a plasma processing apparatus according to a first embodiment of the present invention.

The plasma processing apparatus of the present invention comprises a resonance circuit (band eliminator) **61***b* for causing series resonance with a microwave circuit formed of at least a susceptor electrode **8** and a processing chamber **60** in order to trap plasma between a plasma excitation electrode **4** and the susceptor electrode **8** when the surface of a workplace **16** placed on the susceptor electrode **8** is processed by plasma generated between the plasma excitation electrode **4** and the susceptor electrode **8**, which are provided inside the processing chamber **60**; and for causing parallel resonance with the microwave circuit in order to diffuse plasma inside the processing chamber **60** when performing plasma cleaning.

In this example, a variable capacitor C_1 is also used in a band eliminator **61***a* on the side of the plasma excitation electrode **4** in order to make it possible to adjust the impedance. However, since the band eliminator **61***a* is a circuit mainly for the purpose of preventing the high-frequency power of frequency f_2 from being loaded into the plasma excitation electrode **4**, the band eliminator **61***a* itself need not always be provided depending on the application, and the impedance of the band eliminator **61***a* need not always be variable.

Furthermore, in this example, the connection of the band eliminator **61***b* to the susceptor shield **12** is performed at a plurality of points at symmetrical positions. As shown in FIG. **1**A the susceptor shield **12** is connected to the processing chamber **10** through the bellows **11**.

The band eliminator shown in FIG. **1**, as shown in FIG. **2**, is designed so that the impedance of the plasma processing apparatus assumes a local minimum value when the frequency is f_e=40 MHz in a case where the variable capacitor is in a range of 50 to 200 pF.

When high-frequency power of a frequency f_e=40 MHz was supplied from the high-frequency power source **15** to the susceptor electrode **8** and film formation was performed, the plasma was trapped between the plasma excitation electrode **4** and the susceptor electrode **8**.

After the film formation was completed, cleaning of the chamber was performed with the value of C_2 being varied by the variable capacitor so that resonance (parallel resonance) occurs at a frequency of f_e at which the impedance reaches a local maximum value.

That is, a parasitic capacitance C_3 is present between the susceptor electrode **8** and the chamber wall **10**, and since L_3 which is parasitic to a shaft **13** are present in the shaft **13**, the chamber has C_3 and L_3 which is parasitic thereto. These constitute a microwave circuit formed of the susceptor electrode and the processing chamber, and the overall circuit is a circuit shown in FIG. **1**B. By varying C_2 in this circuit, parallel resonance occurred. As a result, plasma was diffused over the entire chamber.

[Second Embodiment]

FIG. **3** shows a plasma processing apparatus according to a second embodiment of the present invention.

In this example, for the band eliminator, two, **61***a* and **61***a'*, are provided symmetrically, and two, **61***b* and **61***b'*, are provided symmetrically.

In this example, since a plurality of band eliminators **61***a* and **61***a'*, and **61***b* and **61***b'* are provided, and the band eliminators **61***a* and **61***a'*, and **61***b* and **61***b'* are provided symmetrical to each other, it is possible to supply high-frequency power to the susceptor electrode **8** uniformly. The remaining construction is the same as in the first embodiment.

[Third Embodiment]

FIG. **4** shows a plasma processing apparatus according to a third embodiment of the present invention.

This example is such that, in a conventional example shown in FIG. **12**, the band eliminators **61***a* and **61***a'*, and **61***b* and **61***b'* shown in the second embodiment are provided. The remaining construction is the same as in the first embodiment.

[Fourth Embodiment]

FIG. **5** shows a plasma processing apparatus according to a fourth embodiment of the present invention. FIG. **6** is an enlarged view taken from the vicinity of the susceptor electrode **8** of FIG. **5**.

In the plasma processing apparatus of this example, in addition to the apparatus shown in the first embodiment, the section between the chamber wall **10** and the electrode shield **12** which is at the same electrical potential with the chamber in terms of direct current is short-circuited by metal plates **80***a* and **80***b*.

In the plasma processing apparatus of this example, high-frequency power is supplied from the high-frequency power source **1** to a coaxial cable, the matching circuit, the power-supply plate **3**, and the plasma excitation electrode (cathode electrode) **4**. In this regard, it is the same as the conventional plasma processing apparatus. Meanwhile, when the passage of the high-frequency current is considered, the current passes through the plasma space (chamber **60**) via the above, after which the high-frequency current passes through another electrode (susceptor electrode) **8**, a horizontal section of the shield **12**, the metal plates **80***a* and **80***b*, a bottom **10***b* of the chamber wall **10**, and a side wall **10***s* of the chamber wall **10**. Thereafter, the current passes through the housing of the matching box **2** and returns to the ground of the high-frequency power source **1**.

In the conventional plasma processing apparatus, the high-frequency current passes through a vertical section of the shield **12**. If the size of a substrate **16** is increased, the

distance between the shield **12** and the chamber side wall inevitably increases. Mutual inductance which occurs by the high-frequency current flowing through the shield **12** and that flowing through the chamber side wall **10***s* increases with an increase in the distance between them, and the power consumption efficiency is decreased. Therefore, in the conventional plasma processing apparatus, power consumption efficiency is inevitably decreased with respect to a substrate of a large size.

In the plasma processing apparatus of this example, however, since high-frequency current passes through the metal plates **80***a* and **80***b* nearer to the chamber side wall **10***s* than the vertical section of the shield **12**, it is possible to greatly reduce an occurrence of mutual inductance and to greatly increase the power consumption efficiency.

In the apparatus shown in FIG. **5**, the power consumption efficiency can be increased to about two times as great as that of the apparatus shown in FIG. **11**. Also, in the apparatus shown in FIG. **5**, the frequency dependence of the susceptor impedance is small.

The susceptor impedance of the apparatus shown in FIG. is shown in FIG. **7**.

As can be seen in FIG. **7**, in the plasma processing apparatus of this example, the susceptor impedance is much smaller than that of the plasma processing apparatus of the conventional example, and the frequency dependence is small. As can be seen from a comparison with FIG. **2**, the frequency range indicating a local minimum value is wide.

[Fifth Embodiment]

FIG. **8** shows a plasma processing apparatus according to a fifth embodiment of the present invention. Although in the first to fourth embodiments what is commonly called a two-frequency excitation-type plasma processing apparatus that supplies high-frequency power to the plasma excitation electrode **4** and the susceptor electrode **8** is described, this example is a one-frequency excitation-type plasma processing apparatus that supplies high-frequency power to only the plasma excitation electrode **4**.

In this example, a bellows is not provided, and the band eliminator is connected to one point. The remaining construction is the same as in the first to fourth embodiments.

Also in this example, since a variable capacitor is provided in the band eliminator, it is possible to diffuse plasma over the entire chamber (processing chamber) if a parallel resonance point is selected by the variable capacitor without moving the susceptor electrode **8**. Therefore, even if a bellows is not provided, cleaning of the chamber is possible.

Although in the first to fourth embodiments a bellows is provided, cleaning of the chamber is possible without using the bellows.

[Sixth Embodiment]

FIG. **9** shows a plasma processing apparatus according to a sixth embodiment of the present invention.

This example differs from the fifth embodiment in that the band eliminator is connected to two points in a symmetrical manner. The remaining construction is the same as in the fifth embodiment.

In this example, plasma which was more uniform than in the fifth embodiment could be generated inside the chamber during chamber cleaning, and uniform cleaning was possible.

[Seventh Embodiment]

FIG. **10** shows a plasma processing apparatus according to a seventh embodiment of the present invention.

This example is also what is commonly called a two-frequency excitation-type plasma processing apparatus. This example differs from the first embodiment in that a bellows is not provided and the susceptor shield **12** is brought into contact with the chamber wall **10**. The remaining construction is the same as in the first embodiment.

Although the foregoing embodiments describe a case in which a capacitor is variable, it is a matter of course that a coil may be variable, and series resonance and parallel resonance may occur.

According to the present invention, a plasma processing apparatus that does not require replacement of a band eliminator according to the frequency used is provided. Also, a plasma processing apparatus that is capable of performing chamber cleaning without replacing a band eliminator is provided. Furthermore, plasma cleaning of the inside of the chamber is possible without using a bellows.

Many different embodiments of the present invention may be constructed without departing from the spirit and scope of the present invention. It should be understood that the present invention is not limited to the specific embodiments described in this specification. To the contrary, the present invention is intended to cover various modifications and equivalent arrangements included within the spirit and scope of the invention as hereafter claimed. The scope of the following claims is to be accorded the broadest interpretation so as to encompass all such modifications, equivalent structures and functions.

What is claimed is:

1. A plasma processing apparatus, comprising:

a plasma excitation electrode provided inside a processing chamber;

a susceptor electrode provided inside the processing chamber; and

a resonance circuit comprising a variable capacitor and a coil which are connected in series between end portions, said end portions of said resonance circuit being connected to said susceptor electrode and said processing chamber, respectively, wherein said resonance circuit is configured to cause series resonance with a first circuit formed of at least said susceptor electrode and said processing chamber by adjusting said variable capacitor to trap plasma between said plasma excitation electrode and said susceptor electrode when a surface of a workpiece placed on said susceptor electrode is processed by plasma generated between said plasma excitation electrode and said susceptor electrode and causes parallel resonance with said first circuit by adjusting said variable capacitor in order to diffuse plasma inside said processing chamber when performing plasma cleaning.

2. A plasma processing apparatus according to claim **1**, wherein a susceptor shield is disposed around said susceptor electrode and a supporting shaft of said susceptor electrode, said susceptor shield is mounted to said processing chamber in a manner to be movable through a bellows disposed around a cylindrical section of said supporting shaft and said susceptor shield, and wherein said bellows expands or shrinks so that said susceptor electrode, said supporting shaft, and said susceptor shield can move from said plasma excitation electrode and said resonance circuit is connected between the supporting shaft and said susceptor shield.

3. A plasma processing apparatus according to claim **2**, wherein said resonance circuit is connected to at least two points of said susceptor shield, and these points are at positions symmetrical about an axis of said supporting shaft.

4. A plasma processing apparatus according to claim **2**, wherein said susceptor shield is connected to an inner wall of said processing chamber through a metal plate and is capable of functioning as an alternating current short-circuit.

5. A plasma processing apparatus according to claim 1, wherein said susceptor electrode is disposed on an inner bottom surface of said processing chamber through an insulator, and said resonance circuit is connected between a supporting shaft of said susceptor electrode and said processing chamber.

6. A plasma processing apparatus, comprising:

a plasma excitation electrode provided inside a processing chamber;

a susceptor electrode provided inside the processing chamber; and

a pair of resonance circuits each comprising a variable capacitor and a coil which are connected in series between end portions connected to said susceptor electrode and said processing chamber, respectively, said resonance circuits being connected to said susceptor electrode and said processing chamber at symmetrical positions, wherein said resonance circuits are configured to cause series resonance with a first circuit formed of at least said susceptor electrode and said processing chamber wherein said series resonance are attained by adjusting said variable capacitor to trap plasma between said plasma excitation electrode and said susceptor electrode when the surface of a workpiece placed on said susceptor electrode is processed by plasma generated between said plasma excitation electrode and said susceptor electrode and causes parallel resonance with said first circuit by adjusting said variable capacitor to diffuse plasma inside said processing chamber when performing plasma cleaning.

7. A plasma processing apparatus according to claim 6, wherein a susceptor shield is disposed around said susceptor electrode and a supporting shaft of said susceptor electrode, said susceptor shield is mounted to said processing chamber in such a manner as to be movable through a bellows disposed around a cylindrical section of said supporting shaft and said susceptor shield, and wherein said bellows expands or shrinks so that said supporting shaft and said susceptor shield can move from said plasma excitation electrode, and said pair of resonance circuits are connected between said supporting shaft and said susceptor shield at symmetrical positions about an axis of said supporting shaft.

8. A plasma processing apparatus according to claim 7, wherein the connection of each of said pair of resonance circuits to said susceptor shield are at positions symmetrical about said axis of said supporting shaft.

9. A plasma processing apparatus according to claim 7, wherein said susceptor shield is connected to an inner wall of said processing chamber through a metal plate and is capable of functioning as an alternating current short-circuit.

10. A plasma processing apparatus according to claim 6, wherein said susceptor electrode is disposed on an inner bottom surface of said processing chamber through an insulator and said pair of resonance circuits are connected between a supporting shaft of said susceptor electrode and said processing chamber at symmetrical positions about an axis of said supporting shaft.

* * * * *